

POWERED BY Dialog

---

**SEMICONDUCTOR SUBSTRATE AND SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING DEVICE****Publication Number:** 11-238687 (JP 11238687 A) , August 31, 1999**Inventors:**

- IWATA HIROKAZU

**Applicants**

- RICOH CO LTD

**Application Number:** 10-056109 (JP 9856109) , February 20, 1998**International Class:**

- H01L-021/205
- H01L-033/00
- H01S-003/18

**Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor substrate formed of a high-performance GaN based compound semiconductor which exhibits few crystal defects and distortions, a stable crystal quality, and can be manufactured with ease and with high yield. SOLUTION: This semiconductor substrate is formed by stacking a mask 13 for selective growth on which circular pattern holes are disposed periodically on a crystal layer which turns into a selective growth causing layer 12 layered on the surface of a single-crystal substrate 11, and by selectively growing a GaN based compound semiconductor layer 15 through the circular pattern holes for selective growth. COPYRIGHT: (C)1999,JPO

JAPIO

© 2005 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.

Dialog® File Number 347 Accession Number 6297095

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-238687

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月31日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 21/205

H 0 1 L 21/205

33/00

33/00

C

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数 5 F D (全 15 頁)

(21) 出願番号

特願平10-56109

(22) 出願日

平成10年(1998) 2月20日

(71) 出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

(72) 発明者 岩田 浩和

東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式  
会社リコー内

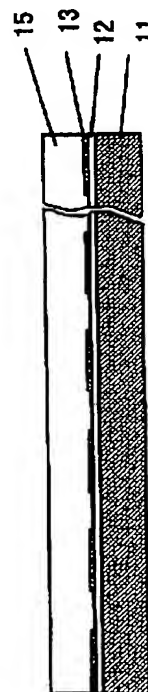
(74) 代理人 弁理士 植本 雅治

(54) 【発明の名称】 半導体基板および半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 結晶欠陥や歪みなどが少なく、結晶品質が安定しており、作製工程が容易で歩留りの良好な高性能の GaN 系化合物半導体から構成される半導体基板および半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 単結晶基板 11 の表面に積層された選択成長の核発生層 12 となる結晶層上に、円形パターンの穴が周期的に配置されている選択成長用マスク 13 が積層され、該選択成長用マスクの円形パターンの穴を通して、GaN 系化合物半導体層 15 が選択成長されて形成されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 単結晶基板表面上に、あるいは、単結晶基板表面に積層された選択成長の核発生層となる結晶層上に、円形パターンの穴が周期的に配置されている選択成長用マスクが積層され、該選択成長用マスクの円形パターンの穴を通して、GaN系化合物半導体層が選択成長されて形成されていることを特徴とする半導体基板。

【請求項2】 請求項1記載の半導体基板において、選択成長用マスクの円形パターンの穴は、格子状に配置されており、該穴は、選択成長するGaN系化合物半導体層の〈11-20〉方向に沿ってその一辺が配列されている正三角形の各頂点に配置されていることを特徴とする半導体基板。

【請求項3】 請求項1または請求項2記載の半導体基板からGaN系化合物半導体層が分離され、分離されたGaN系化合物半導体層からなることを特徴とする半導体基板。

【請求項4】 請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の半導体基板上に、少なくとも1つのp-n接合を含むGaN系化合物半導体積層構造が形成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項5】 請求項3記載の半導体基板上に、少なくとも1つのp-n接合を含むGaN系化合物半導体積層構造が形成されており、該積層構造の半導体基板主面に垂直なへき開面が光出射端面として機能することを特徴とする半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、GaN系化合物半導体から構成される半導体基板、および、DVD用、CD用、プリンタ用の光源などに利用可能な半導体発光素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、青色のLEDは、赤色や緑色のLEDに比べて輝度が小さく実用化に難点があったが、近年、InAlGa系化合物半導体からなるGaN系化合物半導体を用い、ドーパントとしてMgをドーパした低抵抗のp型半導体層が得られたことにより、高輝度青色LEDが実用化され、さらには、実用化には至らないが室温で連続発振するレーザダイオードも開発されている。

【0003】図24は文献「Japanese Journal of Applied Physics vol.34(1995) p.L1332~L1335」に示されているGaN系化合物半導体を用いた発光ダイオード(LED)の断面図である。

【0004】図24のLEDは、サファイア( $Al_2O_3$ 単結晶)からなる100~300 $\mu m$ の基板101上にn型のGa<sub>1-x</sub>Nなどからなる低温バッファ層102と、n型のGa<sub>1-x</sub>N層103と、ノンドープのIn<sub>y</sub>Ga<sub>(1-y)</sub>N ( $0 < y < 1$ )などからなる活性層104と、p型Al<sub>x</sub>

Ga<sub>(1-x)</sub>N ( $0 < x < 1$ )などからなるバリア層105と、p型Ga<sub>1-x</sub>Nなどからなるキャップ層106とが、有機金属化学気相成長法(以下、MOCVD法という)により順次積層されている。

【0005】そして、この積層された半導体層の一部がエッチングにより除去されて露出したn型Ga<sub>1-x</sub>N層103上に、n側電極108が形成され、また、キャップ層106上に、p側電極107が形成され、これによってLEDが形成されている。

【0006】また、図25は、文献「Japanese Journal of Applied Physics vol.35(1996) p.L74~L76」に示されているような端面発光型レーザダイオード(LD)の斜視図である。

【0007】図25のLDは、図24のLEDと同様に、サファイア( $Al_2O_3$ 単結晶)からなる100~300 $\mu m$ の基板122上に、n型のGa<sub>1-x</sub>Nなどからなる低温バッファ層121と、n型のGa<sub>1-x</sub>Nからなる高温バッファ層120と、n型In<sub>y</sub>Ga<sub>(1-y)</sub>N層119と、n型のAl<sub>x</sub>Ga<sub>(1-x)</sub>N ( $0 < x < 1$ )層118と、n型Ga<sub>1-x</sub>N層117と、ノンドープのInGa<sub>1-x</sub>N MQWなどからなる活性層116と、p型Al<sub>x</sub>Ga<sub>(1-x)</sub>N ( $0 < x < 1$ )層115と、p型Ga<sub>1-x</sub>N層114と、p型Al<sub>u</sub>Ga<sub>(1-u)</sub>N ( $0 < u < 1$ )層113と、p型Ga<sub>1-x</sub>N層などからなるキャップ層112とが、MOCVD法により順次積層されている。

【0008】そして、この積層された半導体層をリッジ状にドライエッチングすることによって、光導波路と共振器端面124が形成され、さらに、エッチングにより露出した高温バッファ層120上にn側電極123が形成され、また、キャップ層112上にp側電極111が形成され、これによって、LDが形成されている。

【0009】また、従来、Ga<sub>1-x</sub>N系化合物半導体の結晶性を向上するために、選択成長と横方向の成長により、クラックの無い厚いGa<sub>1-x</sub>N単結晶層を形成する方法が提案されている(文献「Jpn. J. Appl. Phys.」Vol.36 (1997) pp.L899~L902)。

【0010】図26は選択成長用のマスクパターンを示す図であり、図27(a)乃至(e)は、図26のマスクパターンの作製方法を説明するための図である。なお、図27(a)乃至(e)は図26のA-A'線における断面で見たものである。

【0011】図27を参照すると、まず、図27(a)の工程でサファイア基板151上に核発生層としてGa<sub>1-x</sub>N薄膜152を積層し、次いで、図27(b)の工程で核発生層152上に、7 $\mu m$ ピッチで1~4 $\mu m$ 幅のストライプパターンが開いたSiO<sub>2</sub>からなる選択成長用マスク153を形成する。このストライプパターンはGa<sub>1-x</sub>N薄膜152の〈11-20〉方向に沿って形成される(図26を参照)。その後、図27(c), (d), (e)の工程で、選択成長と横方向の成長でクラックの無いGa<sub>1-x</sub>

膜154の結晶成長を行なう。この場合、Ga<sub>2</sub>Nは、始め、ストライプパターンの露出した核発生層152表面に選択成長し、その後、{1-101}面が現われ、マスク153上を横方向に成長する(図27(c))。成長が進むと、隣接したストライプ状のGa<sub>2</sub>N結晶154同士が合体し(図27(d))、次第に溝156が埋まり、最後には平坦な(0001)面を上面とするGa<sub>2</sub>N単結晶層155がウエハー全面に形成される(図27(e))。この方法により、ウエハー全面でクラックのないGa<sub>2</sub>N厚膜が成長可能となった。この上にInGa<sub>2</sub>N MQWを活性層とするLEDを作製すると、LEDの積層構造の結晶欠陥密度は、 $10^7\text{cm}^{-2}$ 程度に減少させることが可能となり、光出力も約3倍になっている(文献「Record of the 16th Electronic Materials Symposium, Minoo, July 9-11, 1997p.291-292」)。

【0012】また、図28は特開平8-316571号に示されている半導体レーザーの斜視図である。図28の半導体レーザーは、MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>基板60上に積層構造61が結晶成長され、積層構造61上にp側電極62、n側電極63が形成されて、発光素子(レーザー)として形成されている。

【0013】ここで、この発光素子の光出射面側は、MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>基板60のへき開面602と積層構造61のへき開面601とにより形成されており、この光出射端面601は、MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>基板60を斜めにへき開することによって形成されている。すなわち、MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>基板60を使用することにより、斜めへき開による光共振器端面の形成を可能にしている。

【0014】また、文献「Applied Physics Letter Vol.61 (1992) p.2688」には、Ga<sub>2</sub>N基板を作製する技術が提案されている。この提案では、サファイア基板上に、ZnOをバッファ層にしてGa<sub>2</sub>N厚膜を成膜し、王水によってZnOバッファ層をエッチング除去し、サファイア基板からGa<sub>2</sub>N厚膜を分離して基板を作製するようにしている。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】このように、低温バッファ層の技術や、選択成長によるGa<sub>2</sub>N厚膜の作製技術により、サファイア等の異種基板上へ高品質のGa<sub>2</sub>N系化合物半導体の結晶成長が可能となり、高輝度LEDが実現され、また、LDの室温連続発振も実現された。

【0016】しかしながら、従来の低温バッファ層の技術や、選択成長によるGa<sub>2</sub>N厚膜の作製技術においても、異種基板上にGa<sub>2</sub>N系化合物半導体を結晶成長するため、格子不整合や熱膨張係数の違いによる結晶欠陥が発生するという問題は依然解決されていない。また、選択成長のマスクは、下地Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体の〈11-20〉方向に沿ってストライプパターンを形成する必要があり、ストライプの方向が、〈11-20〉方向からずれると、横方向の結晶成長が不均一になり、最終的

にできるGa<sub>2</sub>N層には多くの結晶欠陥が導入されてしまうという問題もある。

【0017】また、従来のGa<sub>2</sub>N系化合物半導体を使用した発光素子は、結晶構造の異なる異種基板上に成長するため、基板とGa<sub>2</sub>N系化合物半導体のへき開面は必ずしも一致しているわけではない。そのため、レーザ共振器端面の形成を従来のAlGaAs系等のレーザのようにへき開法で行なうことが困難である。

【0018】例えば、サファイアは劈開性が悪いので、LD共振器端面はドライエッチングなどの方法で作製していた。そのため、作製プロセスもドライエッチング用マスクの形成、ドライエッチング、マスク除去等の工程が必要とされ複雑化していた。さらには、Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体のドライエッチング技術は未だ確立されていないため、形成された共振器ミラーには、縦筋状の凹凸があり、また、テーパ状に形成されるなど、その平滑性、平行性、垂直性は未だ十分ではない。そのため、閾電流値の増大などが起こり、実用に耐えうる素子特性を得ることは困難であった。

【0019】また、特開平8-316571号に開示されているMgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>基板では、へき開によるLD共振器端面の形成を可能としているが、基板とGa<sub>2</sub>N系化合物半導体の結晶構造の違いから、基板とGa<sub>2</sub>N系化合物半導体との劈開面が一致せず斜め劈開になるため、再現性に問題があった。

【0020】また、従来のGa<sub>2</sub>N系化合物半導体発光素子は絶縁性基板上に結晶成長が行なわれるため、基板裏面から電極をとることができない。そのため、電極は素子表面に形成されることになり、従来のAlGaAs系等のレーザのように基板裏面に電極を形成しダイボンディングによる実装ができない上、電極のスペースの分だけチップ面積が大きくなるといった問題も残っていた。

【0021】また、これらの問題を解決するために提案された方法、すなわち、サファイア基板上にバッファ層ZnOを成膜し、その上にGa<sub>2</sub>N厚膜を成長させ、ZnOを王水等でエッチングしてGa<sub>2</sub>N厚膜基板を作製する方法は、分離の再現性に問題があった。これは、結晶性の良いGa<sub>2</sub>N基板を得るためには、ZnOバッファ層の厚さを必要以上に厚くすることはできないため、エッチング液がZnO層に入り込みにくく、再現性良く分離することが困難であるためである。また、このため、大面積の基板を作製することは困難であった。

【0022】本発明は、上述のような従来のGa<sub>2</sub>N系化合物半導体による発光素子の種々の問題を解決し、結晶欠陥や歪みなどが少なく、結晶品質が安定しており、作製工程が容易で歩留りの良好な高性能のGa<sub>2</sub>N系化合物半導体から構成される半導体基板および半導体発光素子を提供することを目的としている。

【0023】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため

に、請求項1記載の発明は、単結晶基板表面上に、あるいは、単結晶基板表面に積層された選択成長の核発生層となる結晶層上に、円形パターンの穴が周期的に配置されている選択成長用マスクが積層され、該選択成長用マスクの円形パターンの穴を通して、GaN系化合物半導体層が選択成長されて形成されていることを特徴としている。

【0024】また、請求項2記載の発明は、請求項1記載の半導体基板において、選択成長用マスクの円形パターンの穴は、格子状に配置されており、該穴は、選択成長するGaN系化合物半導体層の〈11-20〉方向に沿ってその一辺が配列されている正三角形の各頂点に配置されていることを特徴としている。

【0025】また、請求項3記載の発明は、請求項1または請求項2記載の半導体基板からGaN系化合物半導体層が分離され、分離されたGaN系化合物半導体層からなることを特徴としている。

【0026】また、請求項4記載の発明は、請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の半導体基板上に、少なくとも1つのp-n接合を含むGaN系化合物半導体積層構造が形成されていることを特徴としている。

【0027】また、請求項5記載の発明は、請求項3記載の半導体基板上に、少なくとも1つのp-n接合を含むGaN系化合物半導体積層構造が形成されており、該積層構造の半導体基板主面に垂直なへき開面が光出射端面として機能することを特徴としている。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。図1は本発明に係る半導体基板の第1の実施形態を示す平面図、図2は図1のA-A'線における断面図である。また、図3、図4は、図1、図2において、GaN系単結晶層が形成される前の状態の基板の平面図、断面図である。また、図5、図6は図3、図4の状態の基板上にGaN系単結晶層を結晶成長させて図1、図2の状態を形成する途中段階(GaN単結晶層の結晶成長初期)での基板の平面図、断面図である。

【0029】図1、図2、図3、図4、図5、図6を参照すると、この半導体基板は、図3、図4に示すように、サファイア、GaAs等の単結晶基板11の一主面上に、選択成長の核発生層となる結晶層12が形成され、この結晶層(核発生層)12上に、選択成長用マスク13が形成されている。

【0030】ここで、選択成長用マスク13には、周期的に並んで(図1～図6の例では格子状に)配置された円形パターンの穴14が核発生層12の表面に至るまで開けられている。選択成長用マスク13は、穴14を通して核発生層12の材料に優先的にGaN単結晶層の結晶成長が生じる材料で構成されるのが良い。

【0031】このようにして選択成長用マスク13を形成した後、図5、図6に示すように、この円形パターン

の穴14により露出した核発生層12の表面からGaN系化合物半導体15を結晶成長させ、選択成長用マスク13を埋め込むように選択成長用マスク13上でGaN系化合物半導体15を横方向に成長させて、結果的に選択成長用マスクを埋め込んで、図1、図2に示すような一枚の単結晶GaN系化合物半導体層15を形成し、これを半導体基板としている。

【0032】この半導体基板の最大の特徴は、選択成長用マスク13のマスクパターンが、周期的に並んで(例えば格子状に)配置された円形パターンとなっていることにある。なお、図1～図6の例では、円形パターンの周期的な配置方向(例えば格子の一辺の方向)が、選択成長したGaN系化合物半導体層15の〈11-20〉方向に対して所定の角度 $\theta$  ( $\theta \neq 0$ )でずれたものとなっている。

【0033】選択成長用マスク13のパターンを円形にすることで、図5、図6に示すように、成長初期のGaN系化合物半導体結晶15の形状を6つの〈1-101〉を側面とする六角錐にすることが可能となる。また、選択成長用マスク13のパターンが円形であることにより、従来例のストライプパターンのようにパターンの方向を下地結晶の特定方位に合わせる必要がなくなり、下地結晶との方位関係に依存せずに基板全面に形のそろった結晶15を成長させることが可能となる。

【0034】この結晶15をさらに成長させると、図1、図2に示すように、隣接するGaN系化合物半導体結晶15同士が合体し、隣接するGaN系化合物半導体結晶15結晶間の溝16が埋まり、平坦な(0001)面を上面とする単結晶膜15になる。この際、本発明では、形のそろった結晶からの成長であることと、マスクパターンが周期的に並んで配置されていることにより、基板全面ではほぼ厚さのそろったGaN系化合物半導体単結晶層15が成長する。

【0035】また、隣接するGaN系化合物半導体結晶15が核発生層12と接するのは円形パターンの穴14の部分のみであるので、図1、図2において、最終的に得られるGaN系化合物半導体単結晶層15の厚さが厚い場合にも、基板11との熱膨張係数差による歪みが緩和され、隣接するGaN系化合物半導体結晶15のクラックの発生を抑制できる。

【0036】なお、GaN系化合物半導体15としては、例えば、一般式が $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{(1-x-y)}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $x+y \leq 1$ )で表されるIII族窒化物が用いられる。

【0037】次に、図1～図6の半導体基板の作製工程例を説明する。この作製工程例では、半導体基板としてφ2インチ、厚さ300μmの(0001)面サファイア基板11上に、選択成長の核発生層としてのGaN層12、選択成長用マスクとしての $\text{SiO}_2$ 層13、n-GaN単結晶層15を順次に形成するようになっている。

ここで、選択成長用マスクとしての $\text{SiO}_2$ 層13には、直径 $3\mu\text{m}$ の円形パターンの穴14が、 $7\mu\text{m}$ のピッチで格子状に開けられたものを用い、その円形パターンの穴14を通して、 $\text{GaN}$ 層12の表面から、 $n\text{-GaN}$ 単結晶層15を選択成長させ、厚さ $200\mu\text{m}$ の $\text{GaN}$ 単結晶層を形成するようにしている。

【0038】具体的に、まず、 $\phi 2$ インチのサファイア基板11の(0001)面上に、 $\text{GaN}$ 層12を例えばMOCVD法によって $1\mu\text{m}$ の膜厚に積層した。次に、 $\text{GaN}$ 層12上に選択成長用マスク13を堆積し、その後、選択成長用マスク13に円形パターンの穴14をバターンニングして形成し、この穴14の部分において $\text{GaN}$ 層12の表面を露出させる。この段階での基板の状態は、図3、図4のようになる。なお、この作製工程例では、選択成長用マスク13の材料として、 $\text{SiO}_2$ を堆積し、円形パターンとしては、フォトリソグラフィにより $7\mu\text{m}$ ピッチで格子状に配列した直径 $3\mu\text{m}$ の円形パターンを使用した。

【0039】次いで、円形パターンの穴14の部分において露出している $\text{GaN}$ 層12の表面から $n\text{-GaN}$ 単結晶層15を選択成長させる。 $n\text{-GaN}$ 単結晶層15の結晶成長初期の段階での基板の状態は、図5、図6のようになる。

【0040】さらに $n\text{-GaN}$ 単結晶層15を成長し続けることによって、選択成長用マスク13が埋め込まれ、図1、図2に示すような $\text{GaN}$ 単結晶層15が形成される。

【0041】なお、 $n\text{-GaN}$ 単結晶層15の結晶成長は、HVPEで行ない、 $\text{SiCl}_4$ を $n$ 型のドーピングガスとして用いることによって、 $n\text{-GaN}$ 単結晶層15として、 $n$ 型 $\text{GaN}$ を $200\mu\text{m}$ の膜厚に結晶成長させた。

【0042】図7～図12は図1～図6の半導体基板の変形例を示す図である。なお、図7、図8は、図1、図2にそれぞれ対応し、また、図9、図10は図3、図4にそれぞれ対応し、また、図11、図12は図5、図6にそれぞれ対応している。

【0043】図7～図12の例も、基本的には、図1～図6と同様の構成となっているが、図7～図12の例では、核発生層12の材料として、 $\text{GaN}$ のかわりに、 $\text{AlN}$ を用いている。この場合、図7～図12の例では、円形パターンの周期的な配置方向(例えば格子状に配置された円形パターンの格子の一边の方向)を、選択成長する $\text{GaN}$ 系化合物半導体層15の $\langle 11-20 \rangle$ 方向に沿わせたものとなっている。

【0044】次に、図7～図12の半導体基板の作製工程例を説明する。この作製工程例では、単結晶基板として $\phi 2$ インチ、厚さ $300\mu\text{m}$ の(0001)面サファイア基板11上に、選択成長の核発生層としての $\text{AlN}$ 層12、選択成長用マスクとしての $\text{SiO}_2$ 層13、 $n$ -

$\text{GaN}$ 単結晶層15を順次に形成するようになってい。ここで、選択成長用マスクとしての $\text{SiO}_2$ 層13には、 $7\mu\text{m}$ のピッチで格子状に配置された直径 $3\mu\text{m}$ の円形パターンの穴14が開けられたものを用いている。なお、その配置は、選択成長する $\text{GaN}$ 単結晶層15の $\langle 11-20 \rangle$ 方向に沿うように円形パターンの穴14の格子配置の一边が配置されており、この円形パターンの穴14を通して、 $\text{AlN}$ 層12の表面から、 $n\text{-GaN}$ 単結晶層15を選択成長させ、 $\text{GaN}$ 単結晶層15を形成するようにしている。

【0045】具体的に、まず、 $\phi 2$ インチのサファイア基板11の(0001)面上に、 $\text{AlN}$ 層12を例えばMOCVD法によって $700^\circ\text{C}$ で $0.1\mu\text{m}$ の膜厚に積層し、次に、 $\text{AlN}$ 層12上に選択成長用マスク13を堆積し、その後、円形パターンの穴14をバターンニングして形成し、この穴14の部分において $\text{AlN}$ 層12の表面を露出させる。この段階での基板の状態は、図9、図10のようになる。なお、この作製工程例では、選択成長用マスク13の材料として、 $\text{SiO}_2$ を堆積し、円形パターンとしては、フォトリソグラフィで $\text{AlN}$ 層12の $\langle 11-20 \rangle$ 方向に沿って格子状に $7\mu\text{m}$ ピッチで配列した直径 $3\mu\text{m}$ の円形パターンを使用した。

【0046】次いで、円形パターンの穴14の部分において露出している $\text{AlN}$ 層12の表面から $n\text{-GaN}$ 単結晶層15を選択成長させる。 $n\text{-GaN}$ 単結晶層15の結晶成長初期の段階での基板の状態は、図11、図12のようになる。

【0047】さらに $n\text{-GaN}$ 単結晶層15を成長し続けることによって、選択成長用マスク13が埋め込まれ、図7、図8に示すような $\text{GaN}$ 単結晶層15が形成される。

【0048】なお、 $n\text{-GaN}$ 単結晶層15の結晶成長は、HVPEで行ない、 $\text{SiCl}_4$ を $n$ 型のドーピングガスとして用いることによって、 $n\text{-GaN}$ 単結晶層15として、 $n$ 型 $\text{GaN}$ を $200\mu\text{m}$ の膜厚に結晶成長させた。

【0049】図13は本発明に係る半導体基板の第2の実施形態を示す平面図、図14は図13のA-A'線における断面図である。また、図15、図16は、図13、図14において、 $\text{GaN}$ 系単結晶層が形成される前の状態の基板の平面図、断面図である。また、図17、図18は図15、図16の状態の基板上に $\text{GaN}$ 系単結晶層を結晶成長させて図13、図14の状態を形成する途中段階( $\text{GaN}$ 単結晶層の結晶成長初期)での基板の平面図、断面図である。図13～図18の例も、基本的には、図1～図6、あるいは図7～図12と同様の構成となっているが、図13～図18の例では、すなわち、この第2の実施形態では、図15、図16に示すように、選択成長用マスク13には、選択成長する $\text{GaN}$ 系化合物半導体層の $\langle 11-20 \rangle$ 方向に沿ってその一边が配

列される正三角形の各頂点の位置に円形パターンの穴14が開けられている。そして、図17、図18に示すように、この円形パターンの穴14により露出した核発生層12の表面からGa<sub>2</sub>N系化合物半導体15を結晶成長させ、選択成長用マスク13を埋め込むように選択成長用マスク13上でGa<sub>2</sub>N系化合物半導体15を横方向に成長させて、結果的に選択成長用マスクを埋め込んで、図13、図14に示すような一枚の単結晶Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体層15を形成し、これを半導体基板としている。

【0050】なお、Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体15としては、例えば、一般式が $In_xAl_yGa_{(1-x-y)}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $x+y \leq 1$ )で表されるIII族窒化物が用いられる。

【0051】この半導体基板の最大の特徴は、選択成長用マスク13の円形パターンが、Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体15の〈11-20〉方向に沿ってその一辺が配列されている正三角形の各頂点に配置されていることにある。選択成長用マスク13のパターンを円形にすることで、図17、図18に示すように、成長初期のGa<sub>2</sub>N系化合物半導体層結晶15の形状を6つの〈1-101〉を側面とする六角錐にすることが可能となる。さらに、マスク13の円形パターンが、Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体層15の〈11-20〉方向に沿ってその一辺が配列されている正三角形の各頂点に配置されていることによって、隣接するGa<sub>2</sub>N系化合物半導体結晶15の六角錐の底辺は互いに平行になり、形のそろった六角錐形状のGa<sub>2</sub>N系化合物半導体結晶15を基板全面に形成することができる。

【0052】この結晶15をさらに成長させると、図13、図14に示すように、隣接するGa<sub>2</sub>N系化合物半導体結晶15同士が合体し、結晶間の溝16が埋まり、平坦な(0001)面を上面とする単結晶膜15になる。この際、本発明では、形のそろった結晶からの成長であることと、六角錐の底辺が互いに平行であることにより、基板全面で厚さのそろったGa<sub>2</sub>N系化合物半導体単結晶層15が成長する。

【0053】また、隣接するGa<sub>2</sub>N系化合物半導体結晶15が核発生層12と接するのは円形パターンの穴14の部分のみであるので、図13、図14において、最終的に得られるGa<sub>2</sub>N系化合物半導体単結晶層15の厚さが厚い場合にも、単結晶基板11との熱膨張係数差による歪みが緩和され、隣接するGa<sub>2</sub>N系化合物半導体結晶15のクラックの発生を抑制できる。

【0054】次に、図13～図18の半導体基板の作製工程例を説明する。この作製工程例では、単結晶基板としてφ2インチ、厚さ300μmの(0001)面サファイア基板11上に、選択成長の核発生層としてのAlN層12、選択成長用マスクとしてのSiO<sub>2</sub>層13、n-GaN単結晶15を順次に形成するようになってい

る。ここで、選択成長用マスクとしてのSiO<sub>2</sub>層13には、一辺がAlNの〈11-20〉方向に沿って7μmピッチで配列されている正三角形の各頂点に直径3μmの円形パターンの穴14が、配置されて開けられており、その円形パターンの穴14を通して、AlN層12の表面から、n-GaN単結晶を選択成長させ、Ga<sub>2</sub>N単結晶層15を形成するようにしている。

【0055】具体的に、まず、φ2インチのサファイア基板11の(0001)面上に、AlN層12を例えばMOCVD法によって、700℃で0.1μmの膜厚に積層した。次に、AlN層12上に選択成長用マスク13を堆積し、その後、選択成長用マスク13に円形パターンの穴14をパターンニングして形成し、この穴14の部分においてAlN層12の表面を露出させる。この段階での基板の状態は、図15、図16のようになる。なお、この作製工程例では、選択成長用マスク13の材料として、SiO<sub>2</sub>を堆積し、円形パターンとしては、一辺がAlNの〈11-20〉方向に沿って7μmピッチで配列されている正三角形の各頂点にフォトリソグラフィによって穿設された直径3μmの円形パターンを使用した。

【0056】次いで、円形パターンの穴14の部分において露出しているAlN層12の表面からn-GaN単結晶層15を選択成長させる。n-GaN単結晶層15の結晶成長初期の段階での基板の状態は、図17、図18のようになる。

【0057】さらにn-GaN単結晶層15を成長し続けることによって、選択成長用マスク13が埋め込まれ、図13、図14に示すようなGa<sub>2</sub>N単結晶層15が形成される。

【0058】なお、n-GaN単結晶層15の結晶成長は、HVPEで行ない、SiCl<sub>4</sub>をn型のドーピングガスとして用いることによって、n-GaN単結晶層15として、n型Ga<sub>2</sub>Nを200μmの膜厚に結晶成長させた。

【0059】なお、上述の各例(図1～図6の例、図7～図12の例、図13～図18の例)では、核発生層12の材料として、Ga<sub>2</sub>NあるいはAlNを用いたが、核発生層12の材料はこれらに限定されない。例えば、ZnOなどを用いることもできる。

【0060】また、上述の各例(図1～図6の例、図7～図12の例、図13～図18の例)では、円形パターンの穴14が開けられた選択成長用マスク13を結晶層(核発生層)12を介して単結晶基板11上に形成したが、選択成長用マスク13を単結晶基板11上に直接形成することもできる。この場合、円形パターンの穴14から露出した単結晶基板11の表面からGa<sub>2</sub>N系化合物半導体結晶15を結晶成長させることができる。また、この場合、選択成長用マスク13は、穴14を通して単結晶基板11に優先的にGa<sub>2</sub>N単結晶の結晶成長が生じ



る材料からなるのが良い。また、図7～図12の例、図13～図18の例のように、選択成長するGa<sub>2</sub>N系化合物半導体層の〈11-20〉方向に円形パターン14の配列をそろえる場合には、基板11と基板Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体層とのエピタキシャル成長方向の関係を考慮することで、パターン14の配列方向をGa<sub>2</sub>N系化合物半導体層の〈11-20〉方向にそろえることができる。

【0061】なお、Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体15としては、例えば、一般式が $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{(1-x-y)}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $x+y \leq 1$ )で表されるIII族窒化物が用いられる。

【0062】このように、選択成長用マスク13を単結晶基板11上に直接形成する場合でも、選択成長用マスク13のパターンを円形にすることで、成長初期のGa<sub>2</sub>N系化合物半導体結晶15の形状を6つの〈1-101〉を側面とする六角錐にすることが可能となり、また、図1～図6の例の場合には、選択成長用マスク13のパターンが円形であることにより、ストライプパターンのようにパターンの方向を下地結晶の特定方位に合わせる必要がなくなり、下地結晶との方位関係に依存せずに基板全面に形のそろった結晶15を成長することが可能となる。そして、この結晶15をさらに成長させると、隣接するGa<sub>2</sub>N系化合物半導体結晶15同士が合体し、隣接するGa<sub>2</sub>N系化合物半導体結晶15結晶間の溝が埋まり、平坦な(0001)面を上面とする単結晶膜15になり、この場合も、形のそろった結晶からの成長であることと、マスクパターンが周期的に並んで配置されていることにより、基板全面でほぼ厚さのそろったGa<sub>2</sub>N系化合物半導体単結晶層15を成長させることができる。図7～図12の例、図13～図18の例の場合にも前述したそれぞれの例の効果が得られる。また、隣接するGa<sub>2</sub>N系化合物半導体結晶15が単結晶基板11と接するのは円形パターンの穴14の部分のみであるので、最終的に得られるGa<sub>2</sub>N系化合物半導体単結晶層15の厚さが厚い場合にも、基板11との熱膨張係数差による歪みが緩和され、隣接するGa<sub>2</sub>N系化合物半導体結晶15のクラックの発生を抑制できる。

【0063】また、上述の各例(図1～図6の例、図7～図12の例、図13～図18の例の半導体基板、あるいは、選択成長用マスク13を単結晶基板11上に直接形成して作製された半導体基板)において、Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体結晶15に所定の導電型の不純物をドーピングすることも可能であり、Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体結晶15に所定の導電型の不純物をドーピングすることで、導電型を制御することができ、所望の電気特性を有するGa<sub>2</sub>N系化合物半導体結晶とすることができる。

【0064】また、図1、図2、または、図7、図8、または、図13、図14のように作製された半導体基板、あるいは、選択成長用マスク13を単結晶基板11上に直接形成して作製された半導体基板において、この

半導体基板(11, 12, 13, 15)あるいは(11, 13, 15)からGa<sub>2</sub>N系化合物半導体(単結晶)層15を分離し、Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体(単結晶)層15だけからなる半導体基板を抽出することもできる。

【0065】図19はこのようにして分離されたGa<sub>2</sub>N系化合物半導体(単結晶)層15からなる半導体基板の斜視図である。また、図20は図19のA-A'における断面図である。

【0066】また、図21(a), (b), (c)は、図19、図20の半導体基板15の作製工程例を示す図である。図21(a), (b), (c)の例では、Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体単結晶基板15は、例えば、図7、図8のように作製された半導体基板(11, 12, 13, 15)からGa<sub>2</sub>N単結晶層15を分離することによって作製される。

【0067】図21を参照すると、この例では、核発生層となるAlN層12が積層されたサファイア基板11上にSiO<sub>2</sub>を選択成長用マスク13として、Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体(単結晶)層15を選択成長し、横方向に結晶成長させることにより、例えば、図7、図8の半導体基板を作製する(図21(a))。次いで、HF水溶液でSiO<sub>2</sub>マスク13をエッチング除去して空隙46を形成し、AlNエッチング液が浸透しやすいようにする(図21(b))。しかる後、80℃のKOH水溶液でAlN層12をエッチングして、Ga<sub>2</sub>N単結晶層15をサファイア基板11から分離することができる(図21(c))。具体的には、例えばφ2インチ、厚さ200μmのn-Ga<sub>2</sub>N単結晶15として得られる。

【0068】なお、Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体層15を基板結晶から分離する際、選択成長用マスク13の材料をエッチング除去した後に、図1～図6の例、図7～図12の例、図13～図18の例では、核形成層12とGa<sub>2</sub>N系化合物半導体層15との界面部分をエッチングすると、あるいは、選択成長用マスク13を単結晶基板11上に直接形成して作製された半導体基板では、基板15の表面とGa<sub>2</sub>N系化合物半導体層15との界面部分をエッチングすると、エッチング液が入り込みやすいため、Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体層15の分離が容易に行なえる。その他、単結晶基板11を研磨によって削り落とす方法や、単結晶基板11をエッチング除去する方法などが可能であるが、その方法に関しては特に限定されるものではない。

【0069】但し、Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体基板からGa<sub>2</sub>N系化合物半導体を分離するのにエッチングによる方法を使用する場合、Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体基板の選択成長用マスクパターンが円形であるので、基板あるいは核形成層との接触面積が小さいため、従来のストライプパターンに比べ、マスク材料をエッチング除去した後の空隙にエッチング液が入り込みやすく、核形成層/Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体層界面や、基板表面/Ga<sub>2</sub>N系化合物半導体層界面部分を容易にエッチングすることができる。よ



って、エッチングによるGaN系化合物半導体層の分離が容易に行なえるので、GaN系化合物半導体大面積の基板を得ることが可能である。

【0070】図1、図2、または、図7、図8、または、図13、図14の半導体基板において、あるいは、選択成長用マスク13を単結晶基板11上に直接形成して作製された半導体基板において、GaN系化合物半導体(単結晶)層15が核発生層12あるいは単結晶基板11と接するのは選択成長用マスク13の円形パターンの穴14の部分のみであるので、GaN系化合物半導体単結晶層15が厚い場合にも、核発生層12あるいは単結晶基板11との熱膨張係数差による歪みが緩和されており、従って、図21(c)のようにして得られるGaN系化合物半導体(単結晶)層15の半導体基板は、クラックの発生が抑制されている。すなわち、良質のGaN系化合物半導体(単結晶)層15の半導体基板を得ることができる。

【0071】このように、本発明では、選択成長用マスクパターンに周期的に配置された円形パターンを使用しているので、従来のように、GaNの〈11-20〉方向に沿ったストライプパターンを使用して形成した半導体基板に比べ、マスクパターンのGaNの〈11-20〉からのずれによる不均一な結晶成長の問題は発生せず、GaN系化合物半導体を安定して横方向へ成長させることが可能となり、基板全面に結晶品質の安定したGaN系化合物半導体層15を形成できる。

【0072】また、選択成長させるパターンが円形であるので、GaN系化合物半導体の核発生層12あるいは単結晶基板11との接触面積が小さくすることが可能で、従来のストライプパターンを使用した場合に比べ、より、下地基板の影響が低減されており、基板との格子不整による歪みや熱膨張係数差による歪みが緩和され、格子欠陥や、クラックの発生が抑制されたGaN系化合物半導体基板を得ることができる。

【0073】特に、図13、図14のGaN系化合物半導体基板においては、さらに、選択成長用マスク13として、選択成長するGaN系化合物半導体層の〈11-20〉方向に沿って一辺が配列されている正三角形の各頂点に配置された円形パターンを使用しているので、上述したような効果に加えて、隣接したGaN結晶同士が合体する際に、隣接するGaN結晶の底面の六角形のすべての辺が等距離になり、GaN結晶の合体の際に形成される溝の形状が同一となり、溝部での成長速度も同一となって、溝が埋まった後の平坦性がより良く、平坦性にも優れたGaN単結晶層15を得ることができる。

【0074】また、選択成長用マスク13を単結晶基板11上に直接形成されたGaN系化合物半導体基板は、上述のように作製されたGaN系化合物半導体基板から分離された、GaN系化合物半導体層15からなるGaN系化合物半導体基板であるので、上述したような作用

効果に加えて、このGaN系化合物半導体単結晶基板上に厚いGaN系化合物半導体を成長しても熱膨張係数差による熱歪みにより発生するクラックが発生せず、良質の結晶成長を行なうことができる基板となり、さらには、へき開可能な基板となる。

【0075】また、GaN系化合物半導体は半導体であるので、不純物のドーピング制御により、その導電型、電気抵抗等の電気的特性を制御することが可能であり、導電性基板や絶縁性基板等の所望の電気的特性を有する基板を形成することができる。

【0076】図22は本発明に係る半導体発光素子の構成例を示す斜視図である。図22の半導体発光素子は、例えば図1、図2、または、図7、図8の半導体基板50(11, 12, 13, 15)上に形成された少なくとも一つのp-n接合を含むGaN系化合物半導体積層構造からなる発光素子となっている。

【0077】より具体的に、この半導体発光素子は、例えば図7、図8に示したような半導体基板50(11, 12, 13, 15)上に形成されている。すなわち、φ2", 厚さ300μmの(0001)面サファイア基板11上に、選択成長の核発生層としてのAlN層12、選択成長用マスクとしてのSiO<sub>2</sub>マスク13(AlN層12の〈11-20〉方向に沿うように5μmピッチで格子状に配置された直径2μmの円形パターンをもつマスク13)、厚さ10μmのn-GaN単結晶15が形成された半導体基板50上に、n-GaN層55、n-AlGaInクラッド層56、AlGaIn/InGaIn量子井戸構造活性層57、p-AlGaInクラッド層58、p-GaNキャップ層59が順次に積層されており、この積層構造の一部をp-GaNキャップ層59側からサファイア(0001)基板11へ向かって、n-GaN層55の途中まで除去した島状形状の構造のものとして構成されている。この島状形状の構造(55, 56, 57, 58, 59)が発光素子として機能する部分となる。

【0078】また、図22の半導体発光素子では、p-GaNキャップ層59上に、p側オーミック電極60が形成され、また、露出したn-GaN層55表面上に、n側オーミック電極61が形成されている。

【0079】図22の発光素子は、例えば次のようにして作製することができる。すなわち、まず、サファイア基板11上にMOCVDでAlN層12を積層し、次いで、SiO<sub>2</sub>層13を堆積して、これをパターニングした後、MOCVD法で、n-GaN単結晶15、発光素子を形成する積層構造(すなわち、n-GaN層55、n-AlGaInクラッド層56、AlGaIn/InGaIn量子井戸構造活性層57、p-AlGaInクラッド層58、p-GaNキャップ層59)を同一装置内で連続して結晶成長し、しかる後、島状形状の構造とし、電極60, 61を形成することで作製できる。

【0080】ここで、島状構造は、塩素ガスを主体とするガスをエッチングガスとするドライエッチング法で形成できる。また、p側オーミック電極60は、Au/Niを真空蒸着し、熱処理して形成できる。また、n側オーミック電極61は、Al/Tiを真空蒸着し、熱処理して形成できる。

【0081】このような構成の半導体発光素子では、発光素子のp型、n型層に対応した電極に電流を印加し、p-n接合に電流を注入することで、キャリアの再結合がなされ、これによって発光する。

【0082】すなわち、この発光素子では、p側オーミック電極60、n側オーミック電極61に電流を印加すると、AlGaIn/InGaIn MQW活性層57に電流が注入され、活性層57においてキャリアの再結合によって発光し、光5000、5001として外部に出力される。

【0083】なお、発光素子を構成するGaIn系化合物半導体積層構造は、少なくとも一つのp-n接合を有し、このp-n接合に電流が注入され、キャリアの再結合によって、発光する構造であれば、ホモ接合、シングルヘテロ接合、ダブルヘテロ接合、量子井戸構造、多重量子井戸構造、その他どのような構造であっても差し支えない。

【0084】このように、この半導体発光素子は、図1、図2または図7、図8のGaIn系化合物半導体基板上に形成されたGaIn系化合物半導体積層構造からなる発光素子であり、従来より結晶品質の良い同種の基板上に形成されていることから、発光素子を構成する積層構造の結晶性は、基板材料とGaIn系化合物半導体積層構造の格子不整合による欠陥や熱膨張係数差による熱歪みやクラック等の欠陥、すなわち、発光特性や寿命に悪影響を及ぼす欠陥が低減された高品質なものとなり、そのため、発光特性が良く、寿命の長い発光素子を提供できる。

【0085】また、図23は本発明に係る半導体発光素子の他の構成例を示す斜視図である。図23の半導体発光素子は、例えば図13、14のGaIn系化合物半導体単結晶基板15上に形成された少なくとも一つのp-n接合を含むGaIn系化合物半導体積層構造からなり、基板主面に垂直なへき開面を光出射端面とする発光素子となっている。

【0086】より具体的に、この半導体発光素子は、図19、20のn-GaN単結晶基板15上に、n-GaN層72、n-AlGaInクラッド層73、AlGaIn/InGaIn 量子井戸構造活性層74、p-AlGaInクラッド層75、p-GaNキャップ層76が順次に積層されており、この積層構造のp-GaNキャップ層76上にSiO<sub>2</sub>絶縁層77が形成され、この絶縁層77にp-GaNキャップ層76表面に達する幅5μmのストライプ形状の穴が開けられた構造のものとして構成

されている。

【0087】また、図23の半導体発光素子では、絶縁層77上は、p側オーミック電極78が堆積されて露出したp-GaNキャップ層76と接触し、オーミック電極を形成している。また、n-GaN単結晶基板15の裏面には、n側オーミック電極79が形成されている。

【0088】また、この半導体発光素子の光出射端面700、701はへき開によって、基板15に対し垂直に形成され、また、光出射端面700、701は互いに平行に形成されている。

【0089】なお、図23の半導体発光素子において、n-GaN層72、n-AlGaInクラッド層73、AlGaIn/InGaIn 量子井戸構造活性層74、p-AlGaInクラッド層75、p-GaNキャップ層76はMOCVD法によって結晶成長できる。

【0090】また、p側オーミック電極78は、Au/Niを真空蒸着し、熱処理して形成できる。また、n側オーミック電極79は、Al/Tiを真空蒸着し、熱処理して形成した。

【0091】このような構成の半導体発光素子では、発光素子のp型、n型層に対応した電極に電流を印加し、p-n接合に電流を注入することで、キャリアの再結合がなされ、これによって発光するものである。

【0092】すなわち、この半導体発光素子では、p側オーミック電極78、n側オーミック電極79に電流を印加すると、AlGaIn/InGaIn MQW活性層74に電流が注入され、活性層74においてキャリアの再結合によって発光し、光出射端面700、701によって形成される共振器によって、反射増幅が繰り返され、レーザ光7000、7001として外部に出力される。

【0093】なお、発光素子を構成するGaIn系化合物半導体積層構造は、少なくとも一つのp-n接合を有し、このp-n接合に電流が注入され、キャリアの再結合によって、発光する構造であれば、ホモ接合、シングルヘテロ接合、ダブルヘテロ接合、量子井戸構造、多重量子井戸構造、その他どのような構造であっても差し支えない。

【0094】この半導体発光素子においては、図13、図14のGaIn系化合物半導体基板上に形成されたGaIn系化合物半導体積層構造からなる、基板主面に垂直なへき開面を光出射端面とする発光素子であり、従来より結晶品質の良い同種の基板上に形成されていることから、発光素子を構成する積層構造の結晶性は、基板材料とGaIn系化合物半導体積層構造の格子不整合による欠陥や熱膨張係数差による熱歪みやクラック等の欠陥、すなわち、発光特性や寿命に悪影響を及ぼす欠陥が低減された高品質なものとなり、そのため、発光特性が良く、寿命の長い発光素子を提供できる。

【0095】また、光出射面が基板主面に垂直で、原子オーダーで平滑なへき開面であるので、従来のドライエ

ッチングで形成された光出射端面のような凹凸がないため、光出射端面での散乱ロスがなく、発光特性が良好になる。また、レーザー素子の場合には、上記光出射面は、互いに平行で、平滑な共振ミラー端面となるので、従来のドライエッチングで形成された光出射端面を共振器ミラー端面とするレーザー素子に比べ、しきい電流密度が低く、外部微分効率が高い性能のよいレーザー素子を作製することができる。

【0096】さらにGa<sub>N</sub>系化合物半導体単結晶基板を使用しているので、基板を導電性にすることが可能となり、この場合、基板裏面に電極を形成することができ、従来のダイボンディングによる実装ができる上、電極のスペースの分チップ面積を低減できる。

【0097】図22、図23の例では、半導体発光素子は、図1、図2または図7、図8、図19、20の半導体基板を用いて作製されているが、図13、図14の半導体基板を用いて作製することもできし、あるいは、選択成長用マスク13を単結晶基板11上に直接形成して作製された半導体基板などを用いて作製することもでき、この場合にも、図22、図23の半導体発光素子で得られる効果と同様の効果を得ることができる。

【0098】

【発明の効果】以上に説明したように、請求項1乃至請求項3記載の発明によれば、単結晶基板表面上に、あるいは、単結晶基板表面に積層された選択成長の核発生層となる結晶層上に、円形パターンの穴が周期的に配置されている選択成長用マスクが積層され、該選択成長用マスクの円形パターンの穴を通して、Ga<sub>N</sub>系化合物半導体層が選択成長されて形成されているので、結晶欠陥や歪みなどが少なく、結晶品質が安定しており、作製工程が容易で歩留りの良好な高性能のGa<sub>N</sub>系化合物半導体から構成される半導体基板および半導体発光素子を提供できる。

【0099】特に、請求項2記載の発明によれば、請求項1記載の半導体基板において、選択成長用マスクの円形パターンの穴は、格子状に配置されており、該穴は、選択成長するGa<sub>N</sub>系化合物半導体の〈11-20〉方向に沿ってその一辺が配列されている正三角形の各頂点に配置されているので、上述したような効果に加えて、隣接したGa<sub>N</sub>結晶同士が合体する際に、隣接するGa<sub>N</sub>結晶の底面の六角形のすべての辺が等距離になり、Ga<sub>N</sub>結晶の合体の際に形成される溝の形状が同一となり、溝部での成長速度も同一となって、溝が埋まった後の平坦性がより良く、平坦性にも優れたGa<sub>N</sub>単結晶層15を得ることができる。

【0100】また、請求項3記載の発明によれば、上述のように作製されたGa<sub>N</sub>系化合物半導体基板から分離された、Ga<sub>N</sub>系化合物半導体層15からなるGa<sub>N</sub>系化合物半導体基板であるので、上述したような作用効果に加えて、このGa<sub>N</sub>系化合物半導体単結晶基板上に厚

いGa<sub>N</sub>系化合物半導体を成長しても熱膨張係数差による熱歪みにより発生するクラックが発生せず、良質の結晶成長を行なうことができる基板となり、さらには、へき開可能な基板となる。

【0101】また、請求項4記載の発明によれば、請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の半導体基板上に、少なくとも1つのp-n接合を含むGa<sub>N</sub>系化合物半導体積層構造が形成されているので、従来より結晶品質の良い同種の基板上に形成されていることから、発光素子を構成する積層構造の結晶性は、基板材料とGa<sub>N</sub>系化合物半導体積層構造の格子不整合による欠陥や熱膨張係数差による熱歪みやクラック等の欠陥、すなわち、発光特性や寿命に悪影響を及ぼす欠陥が低減された高品質なものとなり、そのため、発光特性が良く、寿命の長い発光素子を提供できる。

【0102】また、請求項5記載の発明によれば、請求項3記載の半導体基板上に、少なくとも1つのp-n接合を含むGa<sub>N</sub>系化合物半導体積層構造が形成されており、該積層構造の半導体基板主面に垂直なへき開面が光出射端面として機能するので、従来より結晶品質の良い同種の基板上に形成されていることから、発光素子を構成する積層構造の結晶性は、基板材料とGa<sub>N</sub>系化合物半導体積層構造の格子不整合による欠陥や熱膨張係数差による熱歪みやクラック等の欠陥、すなわち、発光特性や寿命に悪影響を及ぼす欠陥が低減された高品質なものとなり、そのため、発光特性が良く、寿命の長い発光素子を提供できる。

【0103】また、光出射面が基板主面に垂直で、原子オーダーで平滑なへき開面であるので、従来のドライエッチングで形成された光出射端面のような凹凸がないため、光出射端面での散乱ロスがなく、発光特性が良好になる。また、レーザー素子の場合には、上記光出射面は、互いに平行で、平滑な共振ミラー端面となるので、従来のドライエッチングで形成された光出射端面を共振器ミラー端面とするレーザー素子に比べ、しきい電流密度が低く、外部微分効率が高い性能のよいレーザー素子を作製することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る半導体基板の第1の実施形態を示す平面図である。

【図2】図1のA-A'線における断面図である。

【図3】図1、図2において、Ga<sub>N</sub>系単結晶層が形成される前の状態の基板を示す図である。

【図4】図3のA-A'における断面図である。

【図5】図3、図4の状態の基板上にGa<sub>N</sub>系単結晶層を結晶成長させて図1、図2の状態を形成する途中段階(Ga<sub>N</sub>単結晶層の結晶成長初期)での基板を示す図である。

【図6】図5のA-A'線における断面図である。

【図7】図1の半導体基板の変形例を示す平面図であ

る。

【図8】図7のA-A'線における断面図である。

【図9】図7、図8において、Ga<sub>2</sub>N系単結晶層が形成される前の状態の基板を示す図である。

【図10】図9のA-A'線における断面図である。

【図11】図9、図10の状態の基板の上にGa<sub>2</sub>N系単結晶層を結晶成長させて図7、図8の状態を形成する途中段階(Ga<sub>2</sub>N単結晶層の結晶成長初期)での基板を示す図である。

【図12】図11のA-A'線における断面図である。

【図13】本発明に係る半導体基板の第2の実施形態を示す平面図である。

【図14】図13のA-A'線における断面図である。

【図15】図13、図14において、Ga<sub>2</sub>N系単結晶層が形成される前の状態の基板を示す図である。

【図16】図15のA-A'線における断面図である。

【図17】図15、図16の状態の基板の上にGa<sub>2</sub>N系単結晶層を結晶成長させて図13、図14の状態を形成する途中段階(Ga<sub>2</sub>N単結晶層の結晶成長初期)での基板を示す図である。

【図18】図17のA-A'線における断面図である。

【図19】本発明に係る半導体基板の第3の実施形態を示す平面図である。

【図20】図19のA-A'線における断面図である。

【図21】図19、図20の半導体基板の作製工程例を示す図である。

【図22】本発明に係る半導体発光素子の構成例を示す斜視図である。

【図23】本発明に係る半導体発光素子の他の構成例を示す斜視図である。

【図24】従来のInAlGa<sub>2</sub>N系化合物半導体を用いたLEDの断面図である。

【図25】従来の端面発光型レーザーダイオードの斜視図である。

【図26】選択成長用のマスクパターンを示す図である。

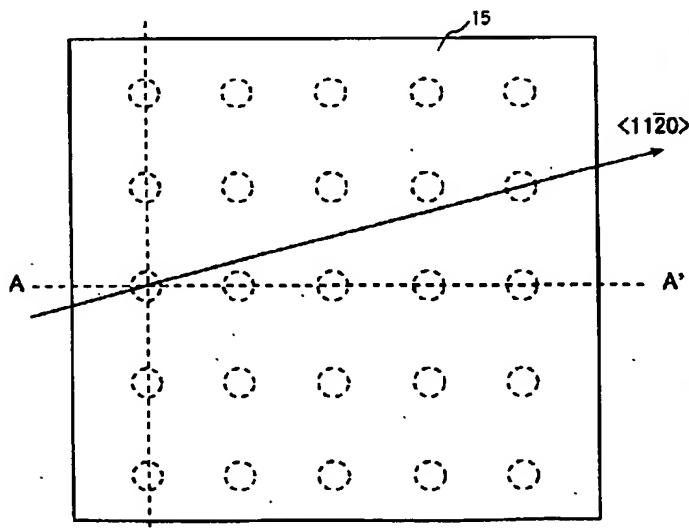
【図27】図26のマスクパターンの作製方法を説明するための図である。

【図28】従来の半導体レーザーの斜視図である。

【符号の説明】

11	単結晶基板(サファイア基板)
12	核発生層
13	選択成長用マスク
14	円形パターンの穴
15	Ga <sub>2</sub> N系化合物半導体層(Ga <sub>2</sub> N単結晶層)
50	半導体基板
55, 72	n-GaN層
56, 73	n-AlGa <sub>2</sub> Nクラッド層
57, 74	AlGa <sub>2</sub> N/InGa <sub>2</sub> N量子井戸構造活性層
58, 75	p-AlGa <sub>2</sub> Nクラッド層
59, 76	p-GaNキャップ層
60, 78	p側オーミック電極
61, 79	n側オーミック電極
77	SiO <sub>2</sub> 絶縁層

【図1】



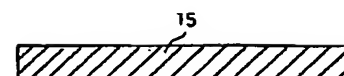
【図4】



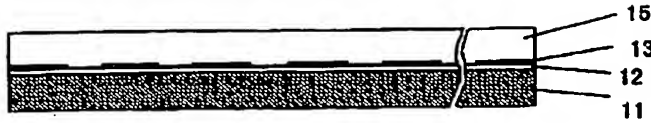
【図12】



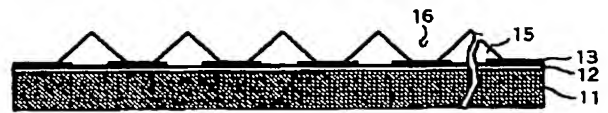
【図20】



【図2】



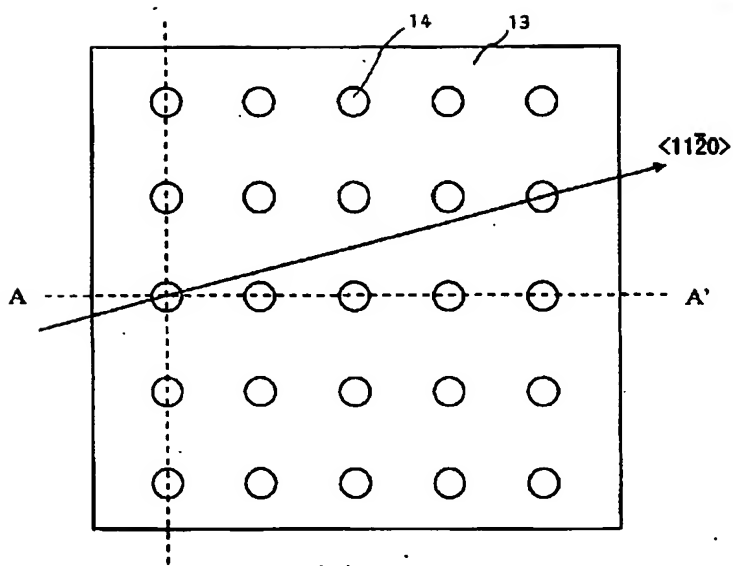
【図6】



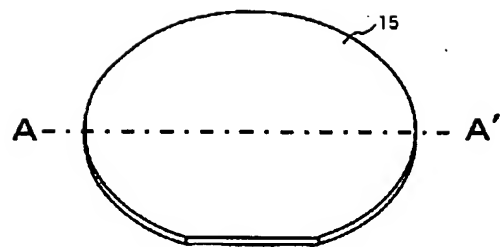
【図16】



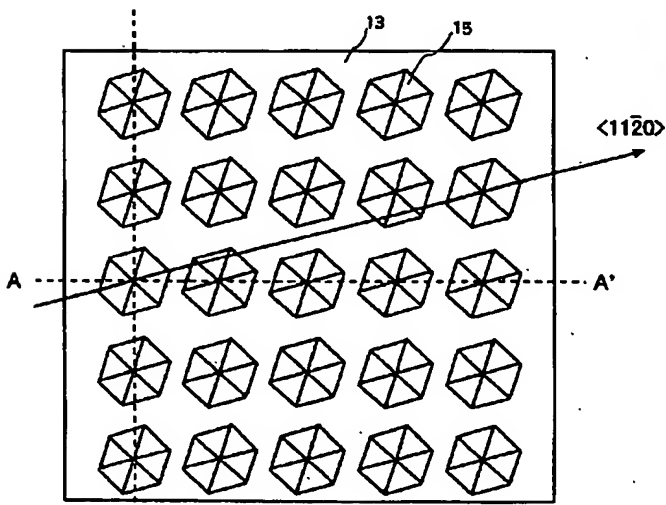
【図3】



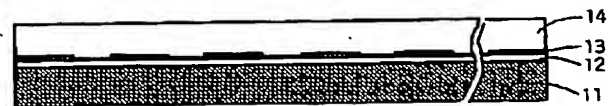
【図19】



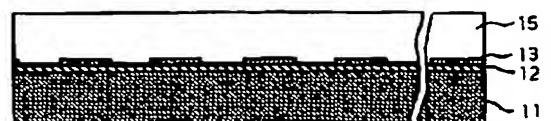
【図5】



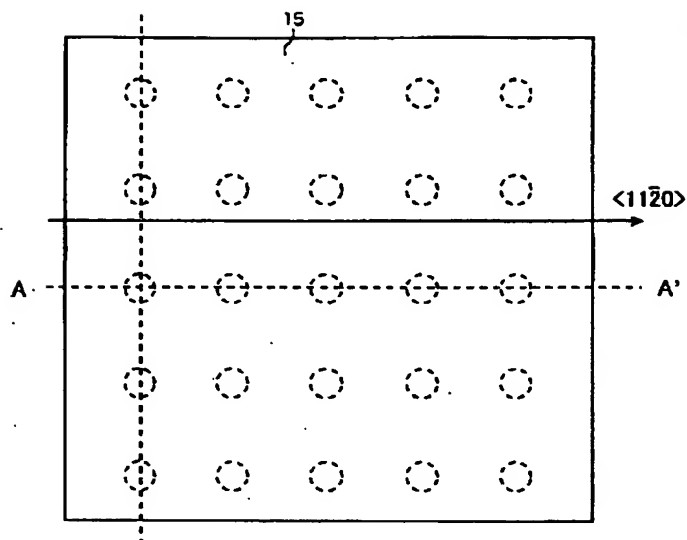
【図8】



【図14】



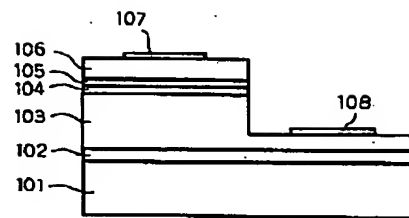
【図7】



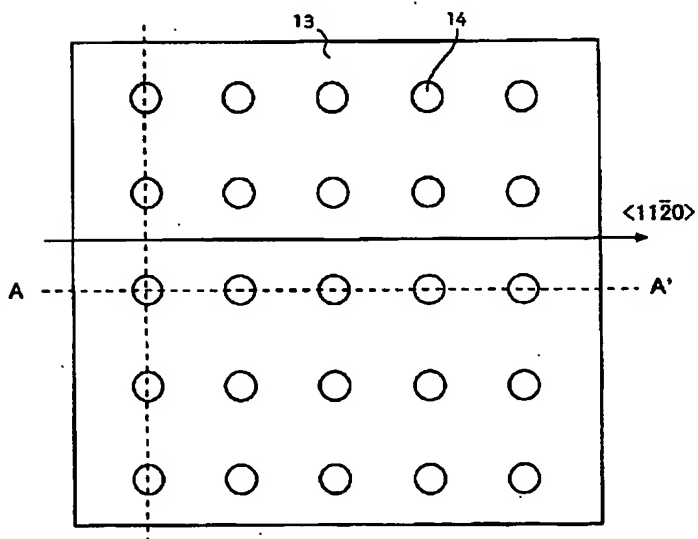
【図18】



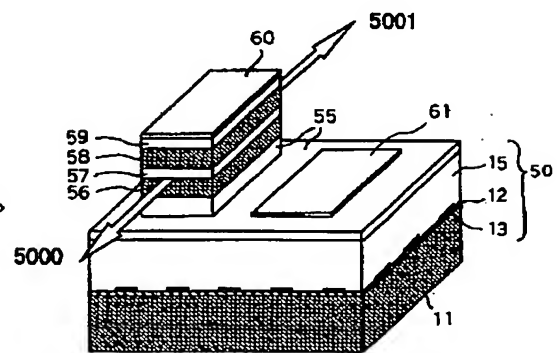
【図24】



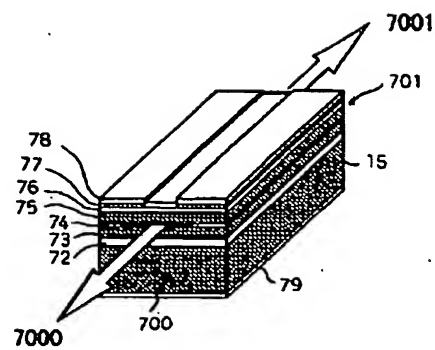
【図9】



【図22】



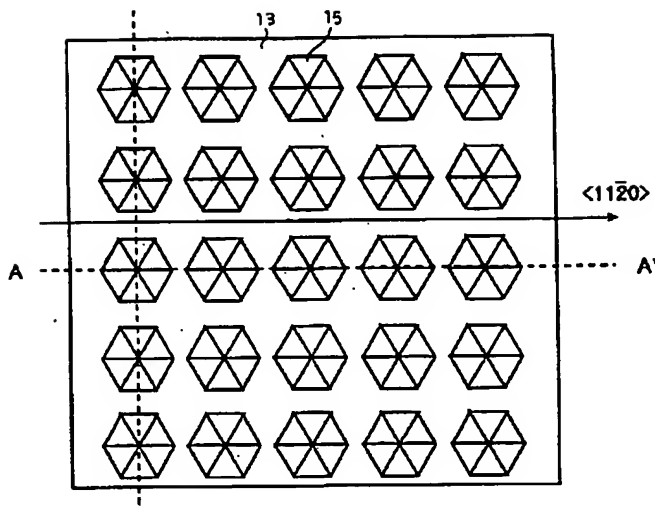
【図23】



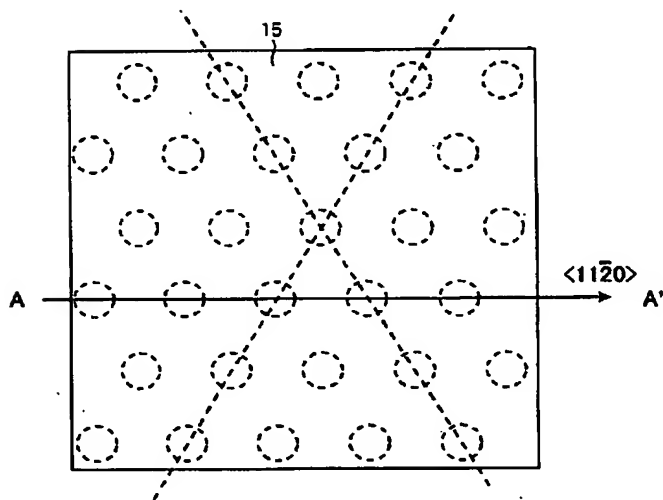
【図10】



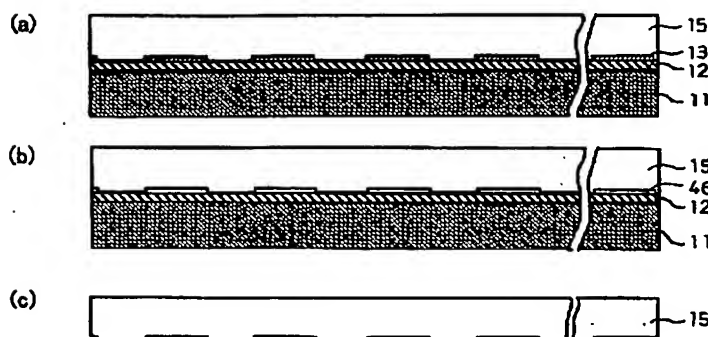
【図11】



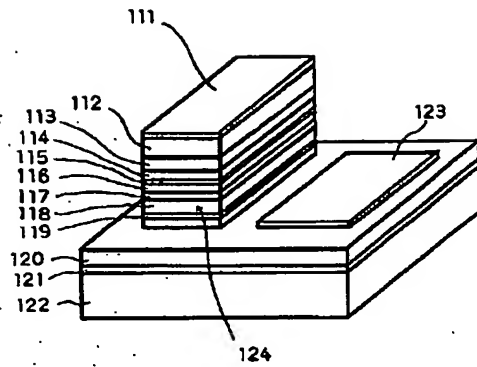
【図13】



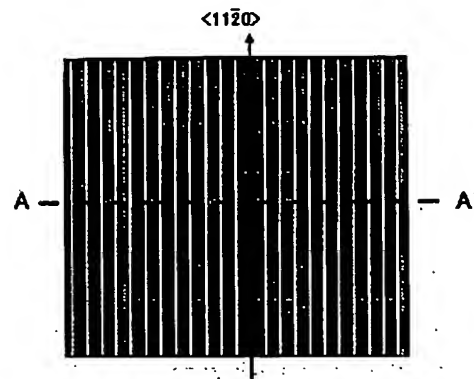
【図21】



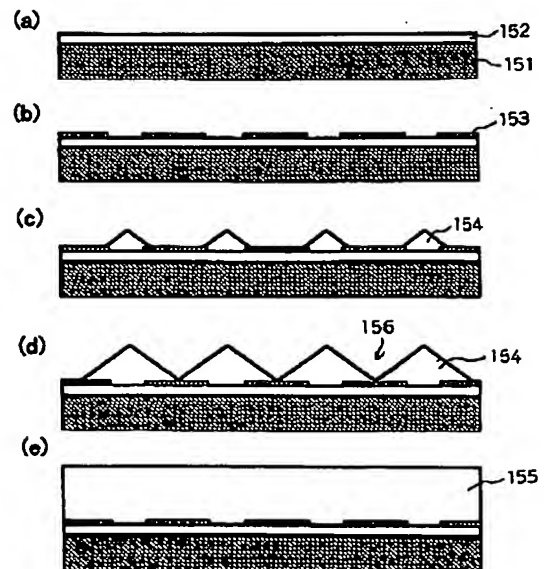
【図25】



【図26】

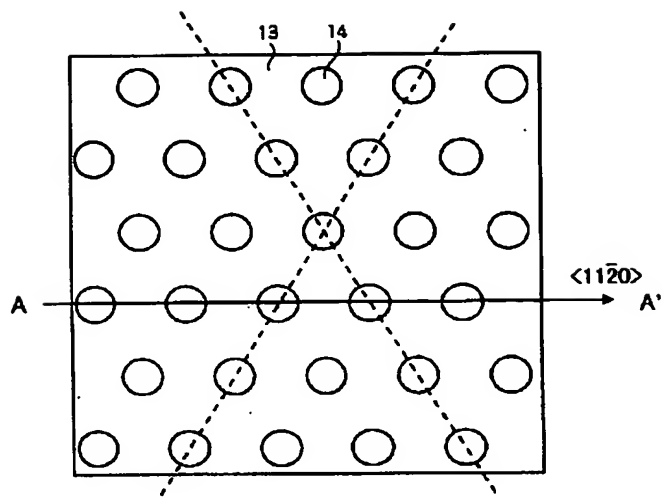


【図27】

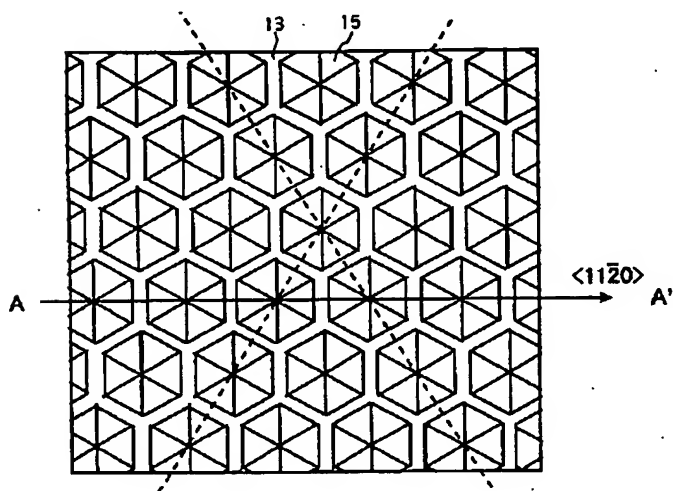




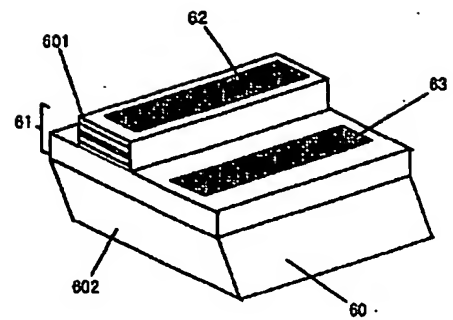
【図15】



【図17】



【図28】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**